

Ouderdomsbepaling bij sterren

Vendelinus, 14 oktober 2023

Bart Buelens

Ouderdom van de zon en andere sterren

- Zon:
 - Gebruikmaken van ander materiaal in zonnestelsel:
Aarde, andere planeten, brokstukken (bijv. stalen van planetoïde Benu)
 - Gedetailleerde waarnemingen van heel dicht bij
- Bij andere sterren kan dit niet
 - Ouderdom kan veel minder nauwkeurig bepaald

Wanneer begint de leeftijd van een ster

- Bereiken van hydrostatisch evenwicht?
- Start deuterium verbranding in proto-ster?
- Ontstaan van de fotosfeer van een ster?
- **Afspraak: $t = 0$, Ster komt voor het eerst op de hoofdreeks; ZAMS = zero age main sequence**
 - Kernfusie begint
 - Maar leeftijden < 0 zijn dan wel mogelijk (*pre main sequence*)
- Witte dwergen: vanaf ontstaan WD, men rekent de stellaire fase niet mee

Drie types van methoden

1. Fundamentele methoden
Op basis van bekende astrofysische processen
2. Model-gebaseerde methoden
Op basis van modellen die gefit zijn op waarnemingen
3. Empirische methode
Op basis van geobserveerde samenhang tussen gemeten parameters en leeftijd

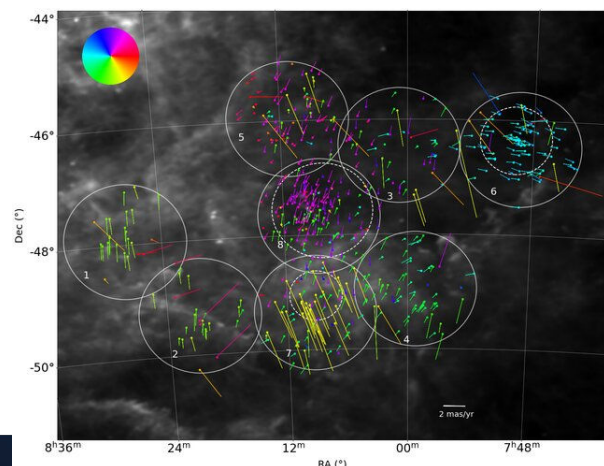
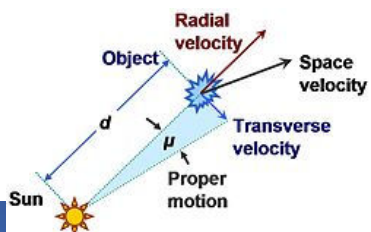
Geen enkele nauwkeuriger dan +/- 10%

Fundamentele methode Nucleocosmochronometrie

- Op basis van verhouding tussen radioactieve isotopen
- Met name Thorium en Uranium
 - ^{232}Th ; $\tau_{1/2} = 14.05 \text{ Gyr}$
 - ^{238}U ; $\tau_{1/2} = 4.47 \text{ Gyr}$
- Vergelijkbaar met radiometrische datering van mineralen op aarde
- Onzekerheden minstens 20%

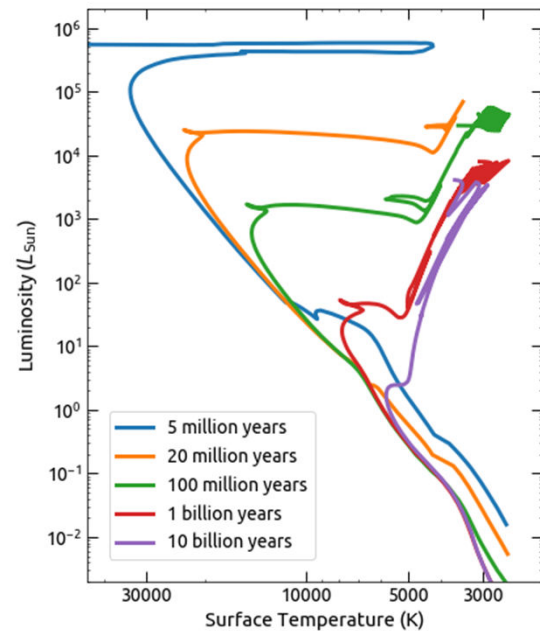
Fundamentele methode Kinematische leeftijdsbepaling

- Voor groepen van sterren die samen gevormd zijn
- Aanname dat ze bij hun ontstaan in elkaars buurt stonden
- Terugrekenen naar dat punt op basis van waargenomen bewegingen



Model-gebaseerde methode Isochroon-plaatsing op HR diagram

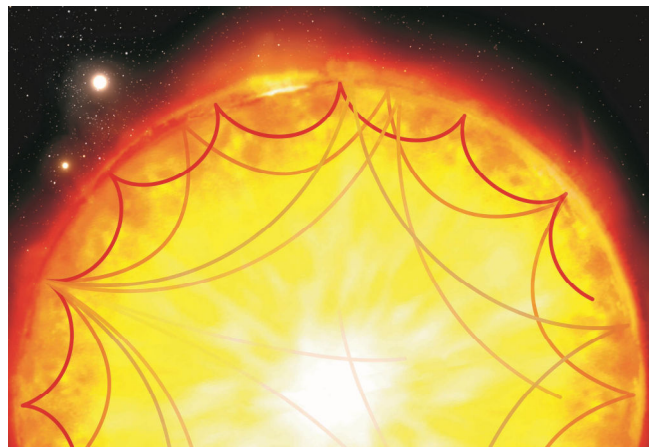
- Onzekerheden 20% - 50%
- Moeilijk voor "PMS" sterren (pre-main sequence)



https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Isochrones_of_several_ages.png

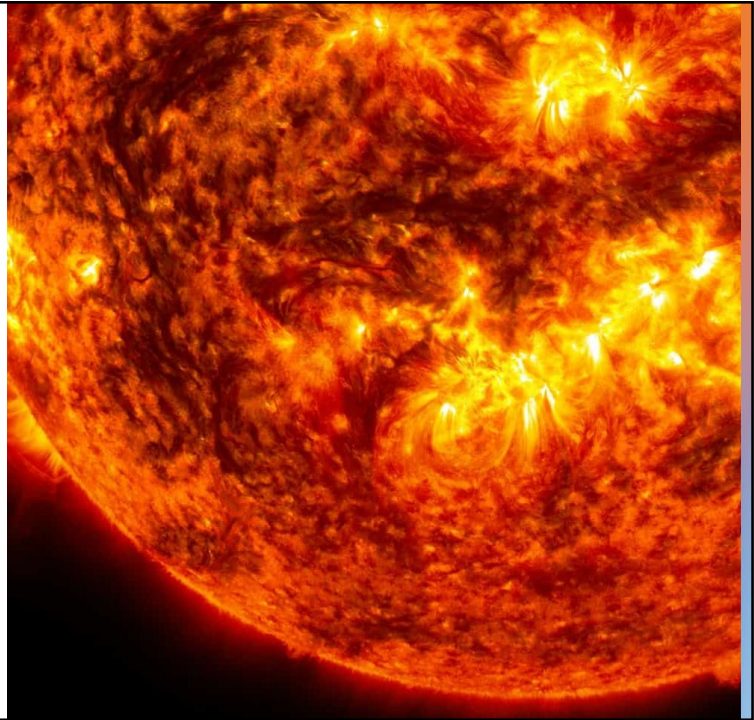
Model-gebaseerde methode Asteroseismologie

- Op basis van trillingen in sterren
- In essentie zelfde methode als isochroon plaatsing, maar soms nauwkeuriger, doordat inwendige kenmerken meegenomen kunnen worden in modellen (zoals He-abundantie)
- Onzekerheden van de orde 10%
- Een van de beste methoden, maar slechts toepasbaar voor beperkt aantal sterren (uitgebreide en gedetailleerde waarnemingen en analyses nodig)



Empirische methode Activiteitsindex

- Jonge sterren zijn actiever
- "Activiteit" magnetisch, massa ejecties vd chromosfeer
- Meten: de flux (massa per oppervlakte per tijdseenheid)



Empirische methode Lithium depletie

- Oudere sterren hebben minder Lithium in de fotosfeer
- Oppervlak van de zon bevat 200x minder Li dan materiaal uit het vroege zonnestelsel
- Li verdwijnt vooral in "PMS" fase (heel jonge sterren)

Lithium Emission Spectrum



Lithium Absorption Spectrum



<http://www.astronoo.com/images/elements/spectre-absorption-element.png>

Empirische methode Gyrochronologie

- Rotatiesnelheid vertraagt met de leeftijd van een ster
- Rotatie *spin-down*
- Zonnevlekken nodig om rotatieperiode te meten (zon-achtige sterren)
- Waarnemingen niet makkelijk

Verband rotatieperiode en leeftijd

- (Skumanich, 1972) Relatie tussen periode en leeftijd: periode \sim (leeftijd)²
- (Meibom, 2015) Bevestigt deze relatie met waarnemingen met Kepler
- **Stars' Spins Reveal Their Ages**
<https://www.youtube.com/watch?v=z6lUurqD3hl>
vanaf minuut 7:20

De ster van vorige maand, $> 13,8 \cdot 10^9$ jaar?

- Naam ster: Methuselah
- Ong. 200 lichtjaar afstand in sterrenbeeld Libra/Weegschaal
- Cowen, 2013, Nature:
Nearby star is almost as old as the Universe
Minstens 13,2 Gyr
- Tang et al., 2021
Revised Best Estimates for the Age and Mass of the Methuselah Star HD 140283 Using MESA and Interferometry and Implications for 1D Convection
Nieuwe schatting 12 +/- 0,5 Gyr
- Methoden gebaseerd op nauwkeurig meten van spectra, massa, afstand -> plaatsing in HR diagram
- MESA = Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (software met ster-modellen)

Bronnen

- <https://arxiv.org/abs/1003.6074>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Stellar_age_estimation
- <https://www.universetoday.com/162534/astronomers-have-a-new-trick-to-work-out-the-age-of-stars/>
- <https://skyandtelescope.org/astronomy-news/star-spins-show-ages-010820143/>
- <https://www.youtube.com/watch?v=z6lUurqD3hI>
- <https://arxiv.org/abs/2105.11311>
- https://en.wikipedia.org/wiki/HD_140283
- <https://www.nature.com/articles/nature.2013.12196>